Transports Canada Transport Canada

TP 9168F

Développement de la motoneige arctique : recherche sur des matériaux légers pour la suspension et la flottabilité

Préparé pour le

Centre de développement des transports
Groupe des politiques et de la coordination
Transports Canada

par

Nunasi Corporation

Juillet 1988

CA1
DTC800-
88
A67Z

41.D

Canada

CA1
DTC800-
88
A67Z

437750

90-07196/

41.D

TP 9168F

CA1
DTC800
88
A67Z

Développement de la motoneige arctique : recherche sur des matériaux légers pour la suspension et la flottabilité

par

Peter Poole, Ph.D.

Nunasi Corporation

Library and Information Centre / Centre de Documentation (SSL)
RECEIVED - REÇU LE
MAY 18 1990
Transport Canada / Transports Canada

Juillet 1988

437750

DLN 423694

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles de la Nunasi Corporation et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports, Groupe des politiques et de la coordination, Transports Canada.

Also available in English under the title: *Arctic Snowmobile Development: Lightweight Materials Research for Suspension Systems and Flotation*, TP 9168E, and in Inuktituk, TP 9168I.

L'équipe de recherche était composée de :

Peter Poole	chef de projet, Nunasi Corporation
Morley Smith	concepteur principal, GSM Production
Colin Hyde	concepteur associé, GSM Production

Transports Canada / Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 9168F	6853	

4. Titre et sous-titre
Développement de la motoneige arctique : recherche sur des matériaux légers pour la suspension et la flottabilité

5. Date de la publication
Juillet 1988

6. N° du document de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)
P. Poole, Ph.D.

8. N° de dossier — Transports Canada
D1465-320-4

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant
Nunasi Corporation
280, rue Albert
Ottawa (Ontario)
K1P 5G8

10. N° de dossier — ASC
T8200-6-6558

11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada
T8200-6-6558/01-SD

12. Nom et adresse de l'organisme parrain
Centre de développement des transports (CDT)
200 ouest, boul. René-Lévesque
Tour ouest, suite 601
Montréal (Québec)
H2Z 1X4

13. Genre de publication et période visée
Sommaire

14. Agent de projet
J.E. Laframboise

15. Remarques additionnelles (Programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

16. Résumé

Ce rapport traite des travaux de développement de la motoneige arctique Samak 428 et des trois objectifs fixés à la recherche : améliorer la suspension, étudier les possibilités offertes par les matériaux composites légers et assurer la flottabilité du véhicule par une technique appropriée.

Une suspension arrière à flexibilité variable a été conçue et essayée avec succès sur un prototype.

Une version allégée construite en matériaux composites et en aluminium a été réalisée en prototype. La nouveauté de la réalisation est que tous les éléments sont intégrés dans une structure sandwich en matière plastique renforcée de fibres de verre et remplie d'un matériau expansé. Le prototype est caractérisé par une suspension avant indépendante, une direction à action progressive et un moteur monocylindre. Il ne pèse que 136 kg, soit 30 kg de moins qu'une motoneige à chenilles longues comparable.

Trois techniques ont été étudiées pour assurer la flottabilité : coque étanchéisée, flottabilité inhérente et coussin gonflable, avec pour objectifs la sécurité du conducteur et la récupération de la machine. Plus facile à réaliser, la technique de la flottabilité inhérente a donné de bons résultats sur le prototype allégé. Un essai en piscine a démontré que celui-ci peut supporter le conducteur hors de l'eau.

17. Mots clés	18. Diffusion
Motoneige, Arctique, transport, utilité.	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée		ix, 29	

CDT/TDC 79-005
Rev 88

Canada

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 9168F	6853	

4. Title and Subtitle	5. Publication Date
Développement de la motoneige arctique : recherche sur des matériaux légers pour la suspension et la flottabilité	July 1988
	6. Performing Organization Document No.
7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
P. Poole, Ph.D.	D1465-320-4
9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Nunasi Corporation 280 Albert Street Ottawa, Ontario K1P 5G8	T8200-6-6558
	11. DSS or Transport Canada Contract No.
	T8200-6-6558/01-SD
12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Publication and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 200 René-Lévesque Blvd. West West Tower, Suite 601 Montreal, Quebec H2Z 1X4	Summary
	14. Project Officer
	J.E. Laframboise

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

16. Abstract

This development project had three objectives: upgrading the suspension system of the Samak 428 arctic snowmobile; examining the potential of lightweight composite materials; and studying options for achieving flotation with snowmobiles.

A progressive rate rear suspension was designed and successfully tested on a Samak 428 prototype.

An entirely new proof-of-concept prototype was constructed using composite materials and aluminium. All components are integrated into a fibreglass-reinforced-plastic sandwich containing structural foam. New features include independent front suspension, progressive rate steering and a single cylinder engine. The prototype weighs 136 kg, 30 kg less than a comparable long-track machine.

Three methods of flotation were investigated: sealed hull, inherent buoyancy and inflatable release. Two objectives were addressed: driver safety and retrieval of the machine. Inherent buoyancy was considered the most practicable, and was achieved with the lightweight prototype. Test in a swimming pool showed that it could support the driver clear of the water.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Snowmobile, Arctic, utility, transportation.	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified		ix, 29	

SOMMAIRE

L'objectif poursuivi était triple :

1. Réétudier les suspensions avant et arrière de la motoneige type arctique Samak 428 réalisée en prototype.

2. Utiliser si possible des matériaux légers de conception avancée en remplacement des métaux qui entrent dans la fabrication des motoneiges classiques.

3. Approfondir les techniques permettant à un véhicule, fait à partir de ces matériaux allégés, de flotter sur l'eau.

Les chasseurs inuit qui avaient essayé la première série de prototypes ont formulé des suggestions pour améliorer ces derniers et notamment :

1. Skis plus larges, à lisses d'usure plus longues et des mains de ressort plus gros.

2. Garde au sol plus grande par la pose d'un ressort à lames plus arqué.

3. Plus grand débattement de la suspension arrière : 12 cm comparativement aux 9,5 cm sur l'engin utilitaire le plus susceptible de lui être comparé.

4. Deux roues de support ajoutées à la suspension arrière.

5. Suspension arrière à flexibilité variable.

6. Dépose de la suspension arrière rendue plus aisée.

En ce qui a trait aux matériaux légers, il a été décidé d'étudier et de fabriquer un prototype entièrement nouveau de validation de principe. Afin de garantir la parfaite concordance dimensionnelle du prototype avec le Samak 428, le tunnel en acier de ce dernier a servi de moule. Ce tunnel a été prolongé pour former une caisse unitaire intégrant le compartiment moteur; celle-ci étant formée d'une structure sandwich faite de deux parements en fibres de verre reliés par une âme en mousse rigide. Aux endroits les plus fortement sollicités, la caisse a été renforcée avec des éléments en kevlar et aluminium. Le capot est en plastique renforcé de fibres de verre tandis que le pare-brise est en lexan.

GSM Production a saisi l'occasion de cette réétude pour ajouter deux caractéristiques nouvelles non prévues dans le cahier des charges original : une direction à action progressive permettant de réduire l'effort qu'il faut exercer sur le guidon en terrain difficile et une suspension avant indépendante en aluminium avec barre de torsion. Quant à la suspension arrière, sa construction se compare à celle du Samak 428 mais elle est surtout faite en aluminium. Une chenille semblable à celle du Samak, mais allégée, a été réalisée par Yokohama spécialement pour le prototype. Les skis sont en kevlar, fibres de carbone, résines époxydiques et mousse rigide et comportent des renforcements en aluminium aux endroits fortement sollicités. En plus d'alléger la pression exercée sur la neige, ces skis possèdent des caractéristiques de flottabilité positive en cas d'immersion.

Le moteur est un Cuyuna 220 c.c., 20 Hp, variante monocylindre du deux-cylindres équipant le Samak 428. Sur le prototype, le support a été conçu pour recevoir ces deux types de moteur. Le prototype réalisé pèse 136 kg, comparativement à la cible visée de 125 kg, mais la possibilité d'un allégement ultérieur est réel, surtout dans la version équipée d'un ressort à lames en remplacement de la suspension avant. Il est en tout cas beaucoup plus léger que l'engin qui lui est comparable, le Yamaha Bravo à chenille longue qui pèse 172 kg.

Trois techniques ont été envisagées pour assurer la flottabilité au cas où l'engin tomberait dans l'eau après avoir défoncé la glace : coque étanchéisée, pneumatique gonflable et flottabilité inhérente. Dans un contexte arctique, les deux premières techniques ont été trouvées si complexes et si limitatives qu'il a été décidé d'approfondir d'abord celle de la flottabilité inhérente.

Placé dans une piscine remplie d'eau, le prototype allégé flotte haut sur l'eau lorsqu'il est sans conducteur. Chargé d'un conducteur assis, il flotte suffisamment haut pour mettre celui-ci hors de l'eau, jambes repliées, condition sine qua non dans un contexte arctique. De plus, l'engin était stable au point que le conducteur pouvait se tenir debout sur les marchepieds. Bien que conçu pour transporter une seule personne, cet engin a pu maintenir deux personnes à flot mais pas tout à fait hors de l'eau. À ce chapitre, ce prototype a montré des qualités qui dépassent les performances escomptées.

L'eau qui a pénétré dans le compartiment moteur a fini par noyer le moteur, mais celui-ci a pu être relancé facilement après l'essai en piscine. Il semble que de légères modifications permettraient au moteur de continuer à tourner plus longtemps et que, grâce à un dispositif de propulsion fixé aux roues de support arrière, l'engin pourrait avancer dans l'eau. C'est avec cette suggestion parmi d'autres concernant la poursuite de la recherche que se termine le rapport.

TABLE DES MATIÈRES

1. **HISTORIQUE DU PROJET** 1

2. **OBJECTIFS** 3
   - **2.1 Suspension du Samak 428** 3
   - **2.2 Recherche sur des matériaux légers** 3
   - **2.3 Flottabilité** 3

3. **SUSPENSION DU SAMAK 428** 4

4. **RECHERCHE SUR DES MATÉRIAUX LÉGERS** 9
   - **4.1 Tunnel et caisse** 9
   - **4.2 Direction à action progressive** 14
   - **4.3 Suspension avant indépendante** 15
   - **4.4 Suspension arrière** 17
   - **4.5 Moteur** 17
   - **4.6 Skis** 18
   - **4.7 Siège** 18
   - **4.8 Allégement du poids total** 19
   - **4.9 Conclusions** 19

5. **RECHERCHE SUR LA FLOTTABILITÉ** 20
   - **5.1 Remarques générales** 20
     - 5.1.1 Situations d'urgence types dans l'Arctique 20
     - 5.1.2 Récupération de la motoneige 20
     - 5.1.3 Aventurisme et garantie du fabricant 20
   - **5.2 Techniques de flottabilité** 21
     - 5.2.1 Calcul de la flottabilité 21
     - 5.2.2 Coque étanchéisée 22
     - 5.2.3 Flottabilité inhérente 22
     - 5.2.4 Pneumatique gonflable 22
     - 5.2.5 Objectif : survie du conducteur 22
     - 5.2.6 Objectif : récupération de l'engin 23
   - **5.3 Discussion** 23
   - **5.4 Conclusions théoriques** 24
   - **5.5 Essais de flottabilité** 25
     - 5.5.1 Essais en piscine 25
     - 5.5.2 Perspectives de recherche et de développement 28

1. HISTORIQUE DU PROJET

1981-1982

Aux termes d'un marché avec le Centre de développement des transports, Peter Poole a été chargé de faire une étude auprès des utilisateurs et de l'industrie dans la région au nord de la limite forestière, sur l'intérêt d'une motoneige convenant mieux au contexte arctique. Le CDT a lancé son appel de propositions à la lumière du mémoire du Conseil consultatif des sciences des Territoires du Nord-Ouest portant sur l'inadéquation des motoneiges sur le marché. La conclusion du mémoire a été la suivante :

"Les inconvénients économiques et techniques reliés aux méthodes modernes de production en série peuvent être palliés par une méthode de production petite série appropriée aux possibilités locales. Par ailleurs, il est recommandé de faire une étude de faisabilité en collaboration avec des associations inuit."

(*Source :* La motoneige, véhicule utilitaire du Grand Nord : situation actuelle et perspectives d'amélioration, Transports Canada, 1982, TP 3728F.)

1983-1984

Nunasi Corporation a présenté au Centre de développement des transports une proposition concernant la conduite d'une étude conceptuelle. Les chercheurs se sont inspirés des recommandations faites par les utilisateurs lors de l'étude antérieure pour esquisser diverses ébauches qui ont été soumises aux chasseurs de Kangiqsualluujjuac au Nouveau-Québec. Les consultations qui ont suivi ont débouché sur une spécification relative au concept retenu et sur la recommandation de fabriquer des prototypes aux fins d'essai et d'évaluation.

Au cours de la dernière réunion générale, les chasseurs ont invité Nunasi Corporation à faire l'essai des prototypes sur leurs propres terres, qui présentent des caractéristiques géographiques diversifiées : glace de mer, toundra, neige molle et forêts. (*Source :* Arctic Snowmobile Design Study, Transports Canada, 1984, TP 5498E.)

1985-1986

Avec l'appui financier de Transports Canada et au titre du fonds d'emprunt esquimau et d'un ARDA particulier, deux prototypes ont été construits par GMS Production et essayés à Kangiqsualluujjuac. Un prototype a été remis aux chasseurs dont les commentaires ont été dûment enregistrés. Dans le rapport, on lit ce qui suit : "Les chasseurs de la région ont été impressionnés par la durabilité et le pouvoir de traction des motoneiges. Leurs conseils et recommandations seront incorporés dans la production de la prochaine série de prototypes."

Le rapport a recommandé la construction d'une série de prototypes, associée à un programme de formation et de transfert de technologie vers le Grand Nord.

Le rapport passe également en revue les perspectives d'amélioration des motoneiges à deux chenilles, dont le concept de base est demeuré inchangé depuis les années 60. Les ingénieurs de GSM Production ont pris l'initiative de réaliser des épures et de construire un prototype permettant d'en valider le principe.

(*Source :* Arctic Snowmobile Prototypes, Transports Canada, 1986, TP 7760E.)

1986-1987

Grâce au fonds de développement économique des populations autochtones et au fonds d'emprunt esquimau, une série de dix prototypes présérie du Samak 428 ont été construits sur place, et l'outillage nécessaire à une production petite série a été élaboré par GSM, parallèlement aux travaux de mise au point du véhicule proprement dit.

Ce prototype a fait l'objet d'essais sommaires à Iqaluit au printemps de 1987. Les essais de traction ont été réussis. Tous les prototypes seront bientôt prêts à subir un programme complet d'essais durant l'hiver 1987-1988.

Simultanément, le Centre de développement des transports a fourni à Nunasi et à GSM l'appui financier nécessaire au développement d'un prototype expérimental allégé, équipé d'un moteur monocylindre, permettant d'étudier les possibilités offertes par les matériaux composites légers, en remplacement des métaux dont sont normalement fabriqués les principaux organes. Cette possibilité avait suscité l'intérêt des participants au Sommet économique autochtone de 1985 tenu à Toronto, au cours duquel le Samak 428 avait été présenté. Les bandes indiennes habituées à un enneigement moins compacté se sont montrées intéressées par la perspective d'une motoneige allégée, capable de flotter haut sur l'eau.

Ainsi, à ce stade, on retrouve des prototypes à trois étapes de développement différentes.

2. OBJECTIFS

Le programme poursuivait trois objectifs : 1) achever le développement du Samak 428 avant de passer au stade de la recherche visant sa production en série et financée par différentes sources, 2) lancer la recherche sur une idée entièrement neuve en matière de construction de motoneiges, faisant largement appel à des matériaux nouveaux et, 3) approfondir les techniques assurant la flottabilité de l'engin fabriqué avec des matériaux légers. Voici le détail des trois objectifs :

2.1 Suspension du Samak 428

Réétudier les suspensions avant et arrière en tenant compte des essais arctiques faits sur les premiers prototypes et des recommandations formulées par les chasseurs inuit qui ont participé à ces essais. Les objectifs visés ont été les suivants :

- augmenter le débattement : 12 cm (arrière),
- obtenir une flexibilité variable (arrière),
- augmenter le nombre de roues de support (arrière),
- faciliter la dépose (arrière),
- augmenter la garde au sol (avant),
- améliorer la stabilité (avant).

2.2 Recherche sur des matériaux légers

Évaluer divers matériaux légers susceptibles de remplacer les métaux généralement utilisés, notamment :

- les plastiques renforcés de fibres de verre,
- la mousse rigide,
- le kevlar,
- les fibres de carbone,
- l'aluminium,
- les résines époxydiques,
- les résines de polyester,
- les alliages ABS-nylon.

2.3 Flottabilité

Mener une recherche théorique sur les techniques permettant d'assurer la flottabilité de l'engin en cas d'accident, et notamment les trois suivantes :

- coque étanchéisée,
- flottabilité inhérente,
- pneumatique gonflable.

3. SUSPENSION DU SAMAK 428

Durant l'hiver 1986-1987, deux prototypes de première série ont été essayés par la collectivité inuit de rivière George au Québec. Une fois les essais terminés, les ingénieurs GSM ont laissé l'un des prototypes aux chasseurs pour qu'ils en fassent un usage normal. Les commentaires de ces derniers transmis à GSM, ont servi à améliorer les suspensions avant et arrière devant équiper les modèles présérie du Samak 428.

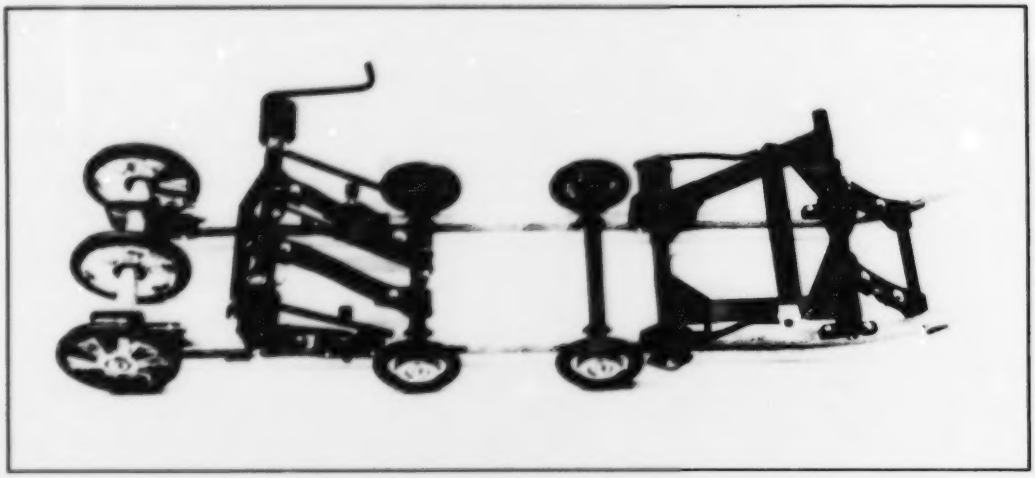
L'effort de réétude a surtout porté sur la suspension arrière. Pour la suspension avant, le débattement est resté à 9,5 cm — correspondant à la valeur retenue sur les engins comparables — mais la garde au sol a été portée de 13 à 17,5 cm par la pose d'un ressort à lames plus arqué.

L'ancienne paire de skis a été remplacée par une autre légèrement plus large, avec des lisses d'usure plus longues et, à l'avant, des mains de ressort plus grosses. On craignait que l'accroissement du débattement et de la garde au sol ne rende l'engin moins stable, mais cette crainte a été dissipée en augmentant légèrement l'écartement des skis, de sorte que, maintenant, la stabilité se trouve être égale ou supérieure à celle du Yamaha ET 340, comme en ont fait foi les essais sur le terrain.

La suspension arrière est fixée au tunnel par quatre boulons seulement, ce qui en rend la dépose plus rapide que sur n'importe quelle motoneige. Cette amélioration est jugée particulièrement avantageuse. En effet, certains travaux légers d'entretien ou de remplacement de pièces sont parfois négligés devant le gros effort à consentir pour déposer la suspension.

Les essais de la nouvelle suspension ont eu lieu à Iqaluit, au printemps de 1987. Elle s'est bien comportée en terrain recouvert de nouvelle neige assez épaisse et sur des champs de glace de mer tourmentée. Ceux qui ont eu l'occasion de conduire l'engin se sont déclarés satisfaits de sa simplicité et de sa robustesse, et des accessoires utilitaires comme les graisseurs d'essieux et de roues de support.

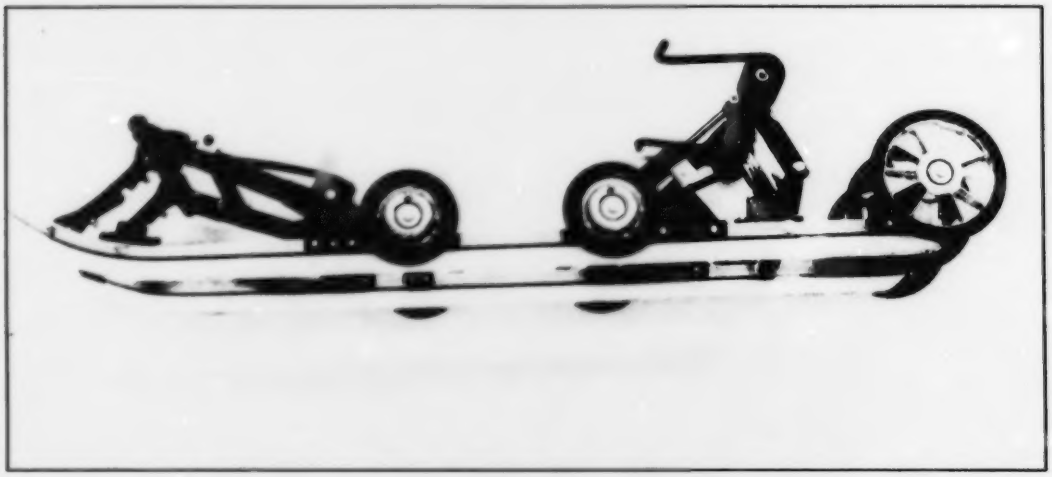
Voici une brève description illustrée des améliorations apportées à la suspension.

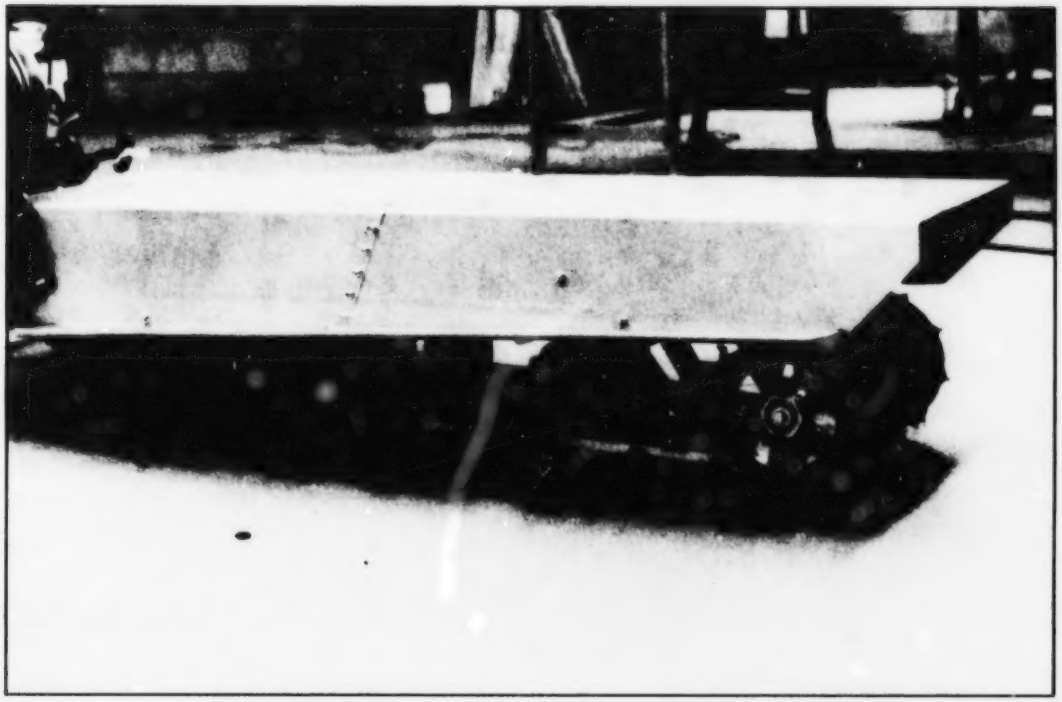


Pour faire de la motoneige un engin susceptible d'être fabriqué et monté par les autochtones eux-mêmes, les supports, traverses, essieux, sangles et butées ont été fabriqués par GSM Production dans ses propres ateliers.

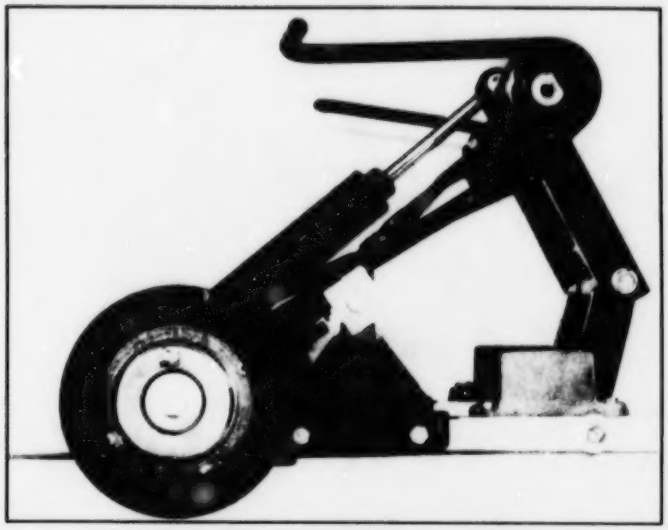
Les glissières ont été fabriquées par Reynolds Aluminium qui dispose des matrices nécessaires. Les ressorts ont été achetés à l'extérieur mais modifiés sur place. Les paliers Hi-fax et les roues ont été achetés sur le marché.

La suspension arrière pèse 26 kg, comme d'ailleurs celle de la Yamaha ET 340.



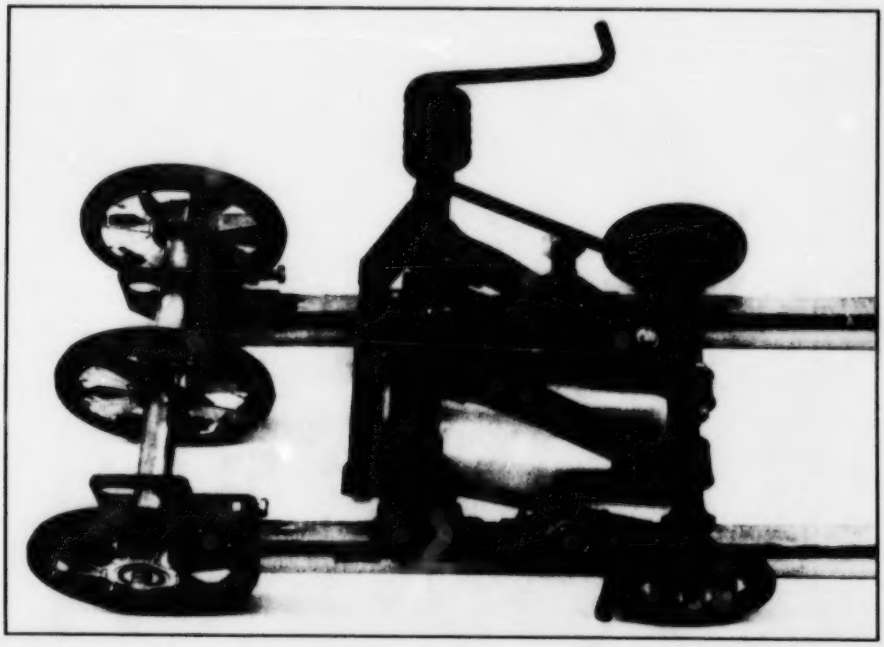


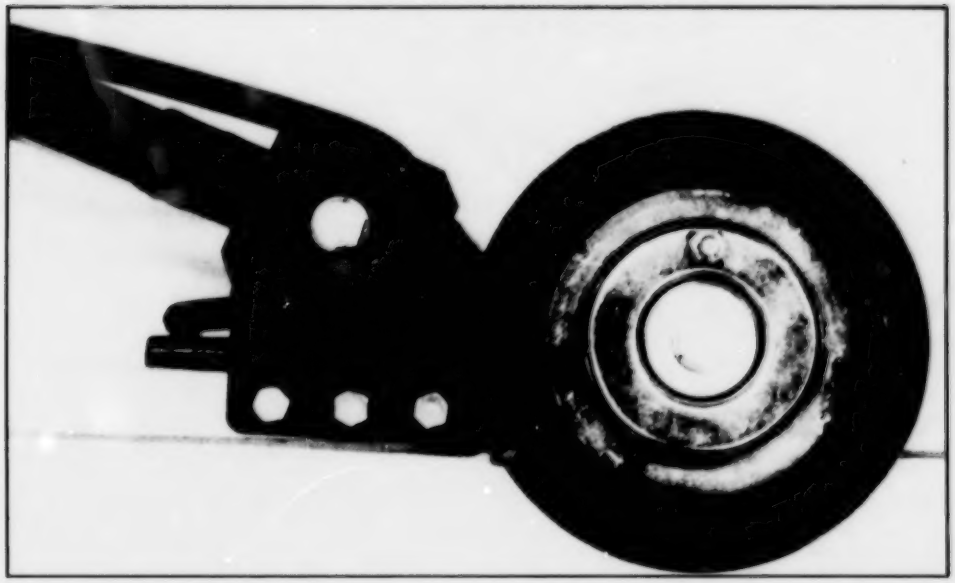
À l'issue des essais arctiques, et pour donner suite à la suggestion des chasseurs inuit, le débattement de la suspension arrière a été porté de 9,5 à 12 cm, comparativement aux 5 et 9,5 cm sur des machines comparables fabriquées par Yamaha et Bombardier, respectivement.



L'effet de flexibilité variable a été obtenu grâce au joint articulé simple illustré ci-dessus, utilisé également par Yamaha. Quant à Bombardier, ses suspensions ne sont pas à flexibilité variable.

À noter, ci-dessous, la roue de support centrale qui donne à la chenille une surface plane sur toute sa largeur, ce que n'ont pas les autres motoneiges.

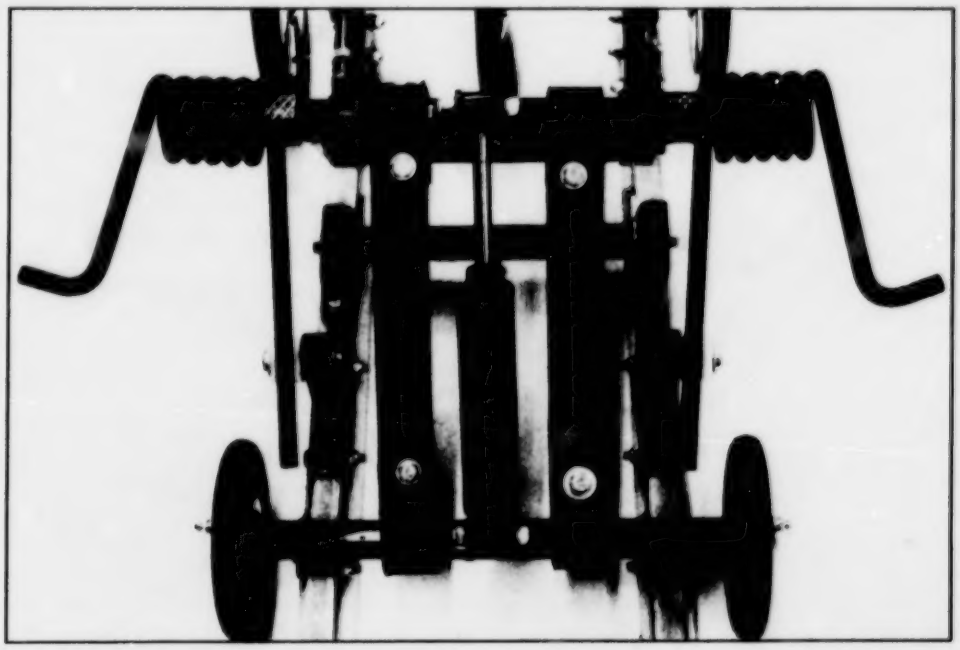




Ce qu'elles n'ont pas, non plus, ce sont les graisseurs équipant celle-ci, aux roues de support, aux axes transversaux et aux essieux.

Au-dessus et au-dessous des traverses avant et arrière sont disposées des butées élastiques.

Comme sur les motoneiges Yamaha, il suffit d'ôter un seul boulon pour déposer les glissières. Sur les motoneiges Bombardier, il faut, pour cela, que toutes les roues aient d'abord été enlevées.



4. RECHERCHE SUR DES MATÉRIAUX LÉGERS

La recherche avait pour but de vérifier les possibilités de réduire le poids total du Samak 428 par l'emploi de matériaux légers. L'énoncé détaillé des travaux prévoyait, en effet, que des organes fabriqués avec de tels matériaux devaient être incorporés à l'un des prototypes du Samak 428 aux fins d'évaluation.

Toutefois, GSM et Nunasi ont préféré étudier et réaliser un prototype entièrement nouveau de validation de principe. Étant donné que la structure du Samak 428 pouvait elle-même être fabriquée en matériaux allégés au lieu de l'acier, il devenait logique d'envisager la réétude complète de l'engin en fonction des possibilités offertes par des matériaux de conception avancée.

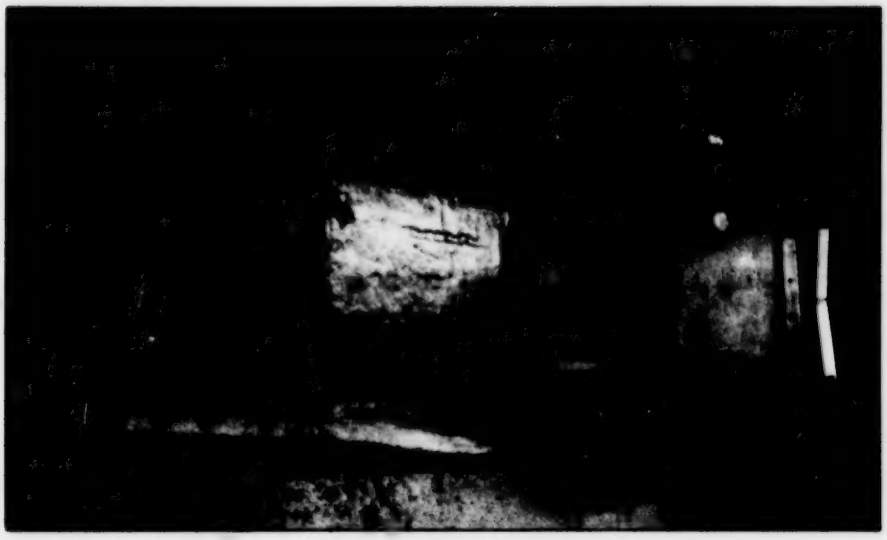
Dans cette optique, il a été également décidé d'adopter la formule d'une suspension avant indépendante, pour donner suite à la demande formulée par des chasseurs inuit qui avaient testé les prototypes du Samak 428 à Iqaluit. Il ne s'agissait pas de remplacer la suspension à ressorts à lames du Samak 428, mais d'offrir une suspension facultative pouvant équiper l'un ou l'autre modèle.

Une autre caractéristique devant être incorporée à titre expérimental au prototype allégé a été la direction à action progressive; cette direction, ainsi que certaines idées novatrices incorporées dans le prototype, sont illustrées et décrites à la page suivante.

4.1 Tunnel et caisse

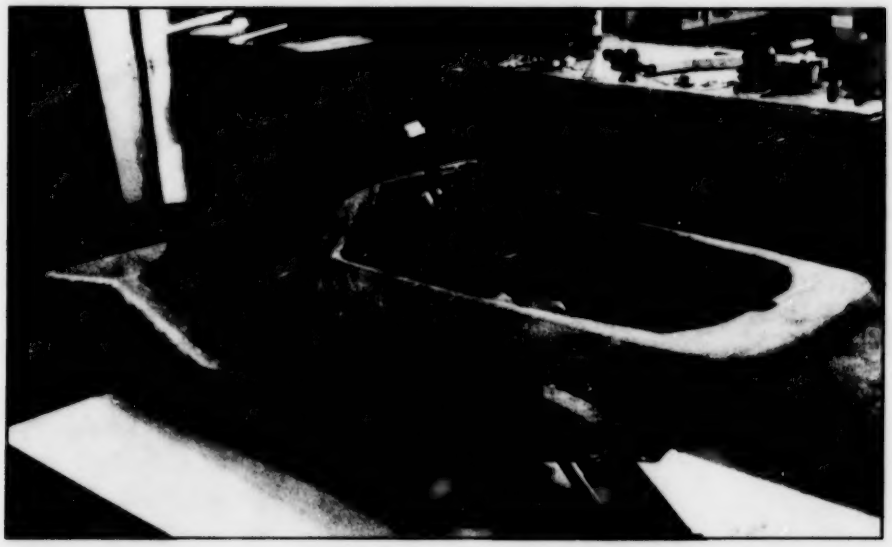
Les concepteurs se sont servis du tunnel en acier du Samak comme moule du parement inférieur de la structure sandwich dont l'âme est composée d'un matériau expansé, garantissant ainsi la parfaite concordance dimensionnelle des deux engins.

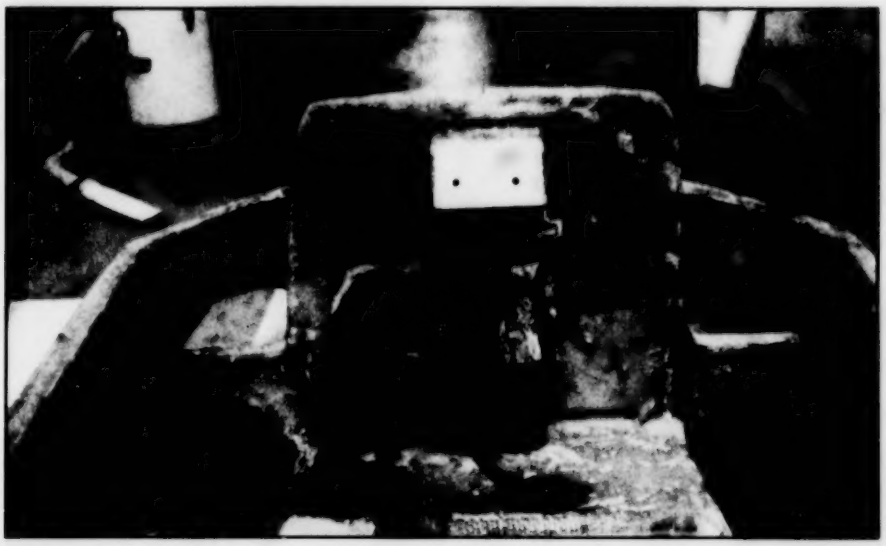
La caisse a ensuite été sculptée dans la mousse rigide rapportée sur le parement inférieur; le parement supérieur a été réalisé par moulage au contact. À noter qu'en production série, le matériau expansé sera introduit dans la structure sandwich par injection.



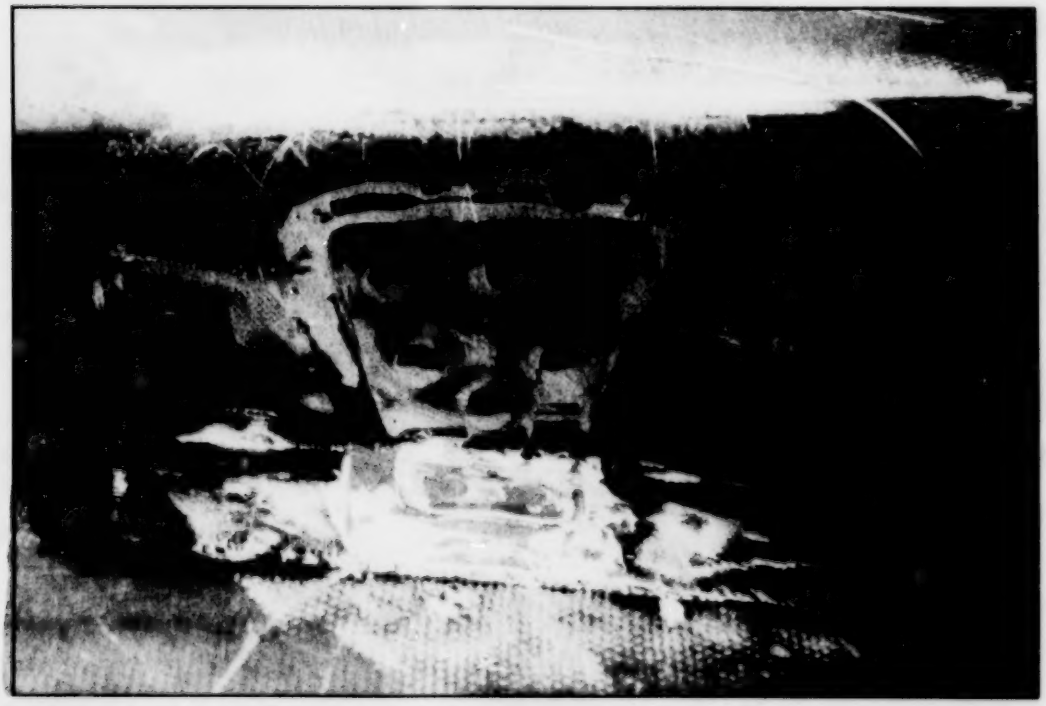
L'illustration ci-dessus montre la caisse complète de la motoneige, comportant le tunnel, le nez, les flasques latérales, la coque, le réservoir et le porte-réservoir réalisés, comme une seule unité, en structure sandwich comportant deux parements en plastique renforcé de fibres de verre reliés par une âme en mousse rigide. L'épaisseur du matériau varie entre 3 cm pour le tunnel et 20 cm pour le nez. Cette caisse pèse 47 kg au total.

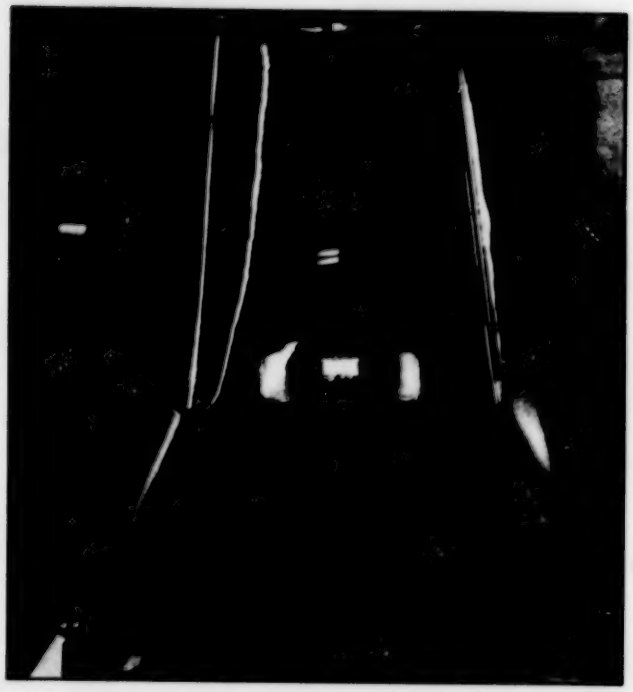
Mais ce poids pourra être réduit davantage à l'avenir. De même, en jouant sur l'épaisseur du matériau et sur la masse volumique de l'âme, il sera possible d'augmenter le volume tout en gardant le poids relativement constant. Cet avantage pourra être utilisé à bon escient au moment où la question de la flottabilité sera examinée.





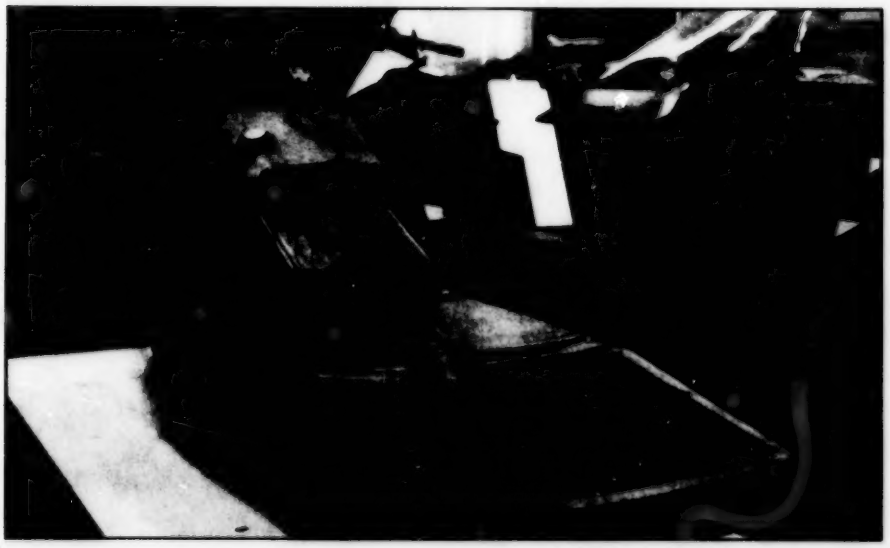
Aux endroits les plus sollicités, la caisse comporte des renforcements en kevlar et en aluminium, notamment aux endroits prévus pour la fixation des suspensions avant et arrière, du moteur et de la direction.



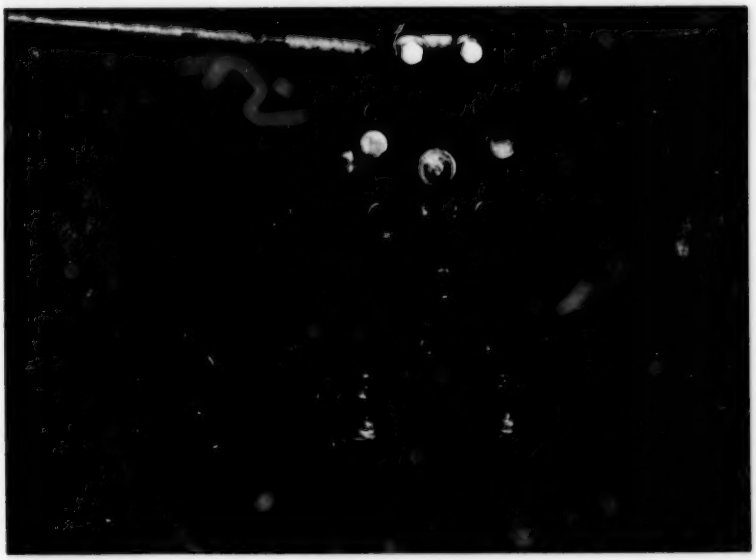


Le capot, réalisé en plastique renforcé, a été conçu pour protéger plutôt que comme élément structural, aussi est-il extrêmement léger. Le pare-brise est fait de lexan thermoformé. Malgré son inclinaison prononcée, il assure une protection en tout point égale au pare-brise plus droit du Samak 428.

Le procédé de moulage retenu a été celui du moulage au contact qui convient le mieux, compte tenu des circonstances. Mais il n'est pas sûr que le matériau utilisé soit le plus avantageux par rapport à l'acier. La prochaine série de prototypes devra servir à comparer deux fabrications : l'une en plastique renforcé de fibres de verre, obtenu selon le procédé du moulage au contact, l'autre en matériaux thermoformables comme le polyéthylène ou un alliage ABS-nylon.

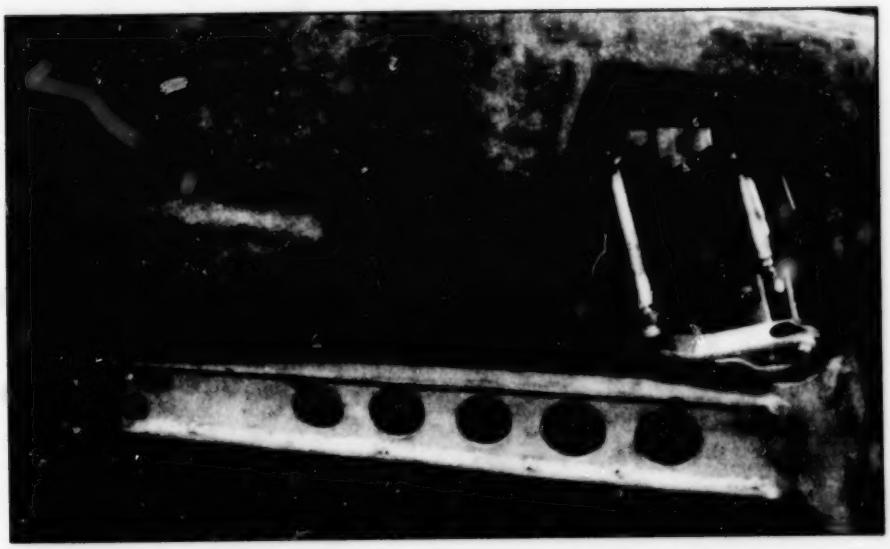


4.2 Direction à action progressive

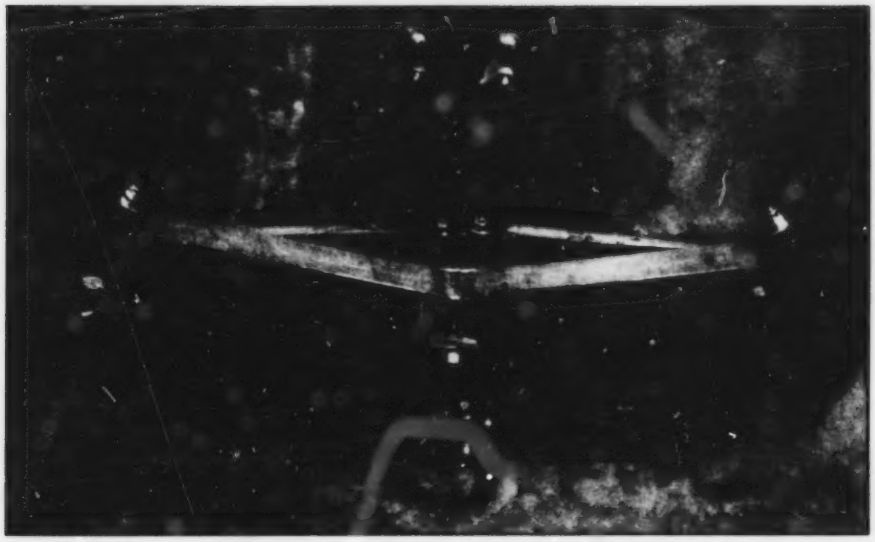


Elle permet de réduire l'effort qu'il faut exercer sur le guidon en terrain difficile. À mesure que l'angle de braquage des skis augmente, la rotule se trouvant à l'extrémité de l'arbre de direction se déplace vers l'arrière, et l'effort exercé sur les barres de direction se trouve ainsi multiplié. Une direction à action progressive équipe la motoneige Alpine de Bombardier qui n'a cependant qu'un seul ski.

4.3 Suspension avant indépendante

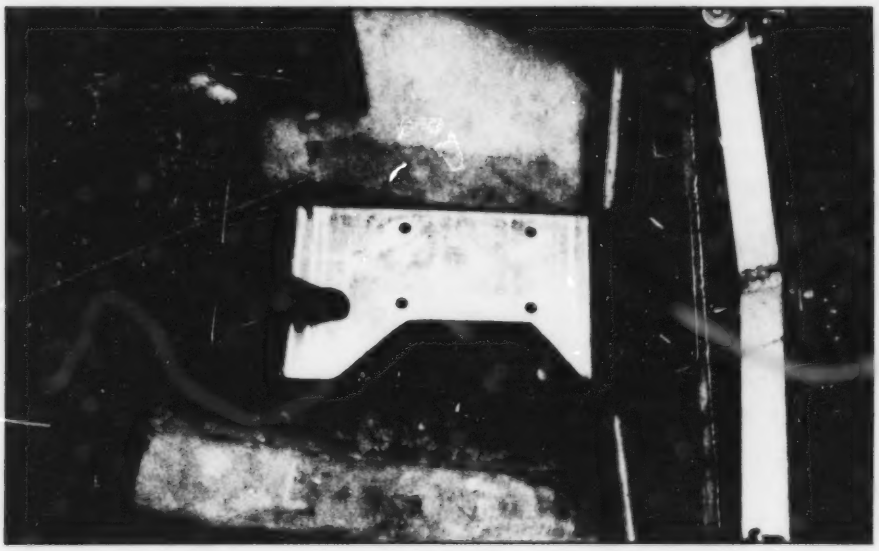


La suspension est presque entièrement en aluminium. Contrairement à celle des autres motoneiges, la barre de torsion sert de ressort et non de dispositif antiroulis. Placée là où la caisse est la plus résistante, la barre permet de réduire les contraintes à l'avant qui sont à l'origine de la plupart des cas d'avarie en utilisation arctique.



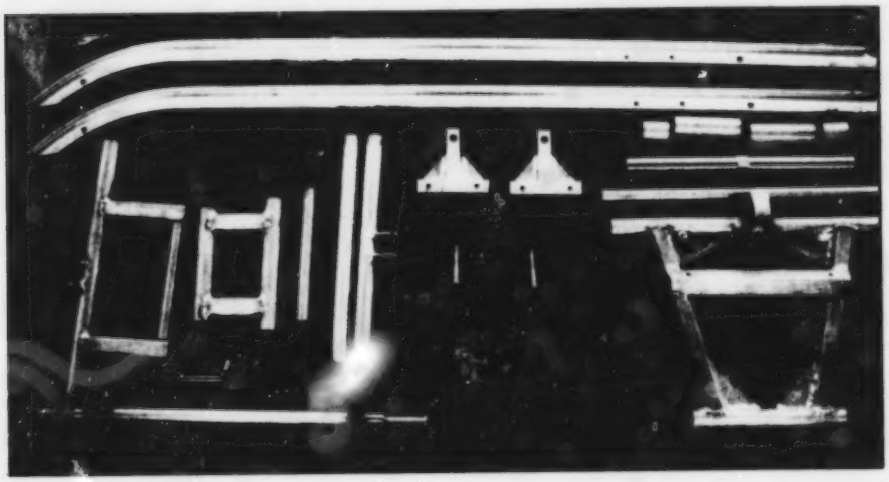
L'aspect singulier de cette suspension est le balancier transversal conçu pour reporter une partie de la charge d'un ski à l'autre et, de la sorte, réduire les contraintes qui se seraient autrement exercées sur l'engin. Il s'agit d'un mécanisme emprunté aux motoneiges de course mais qui n'est jamais utilisé sur les motoneiges standard.

Autre caractéristique destinée à réduire les contraintes à l'avant, les points supports de la suspension sont intégrés dans l'élément support du moteur.



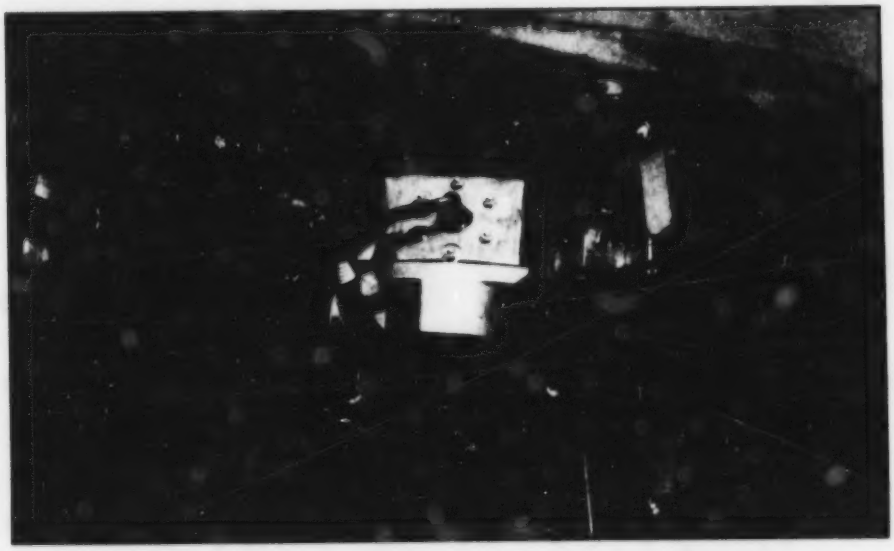
4.4 Suspension arrière

De construction comparable à celle du Samak 428, elle s'en distingue par des composants pour la plupart en aluminium. La chenille a la même longueur que celle du Samak 428 mais, fabriquée par Yokohama, elle comporte moins de crampons.



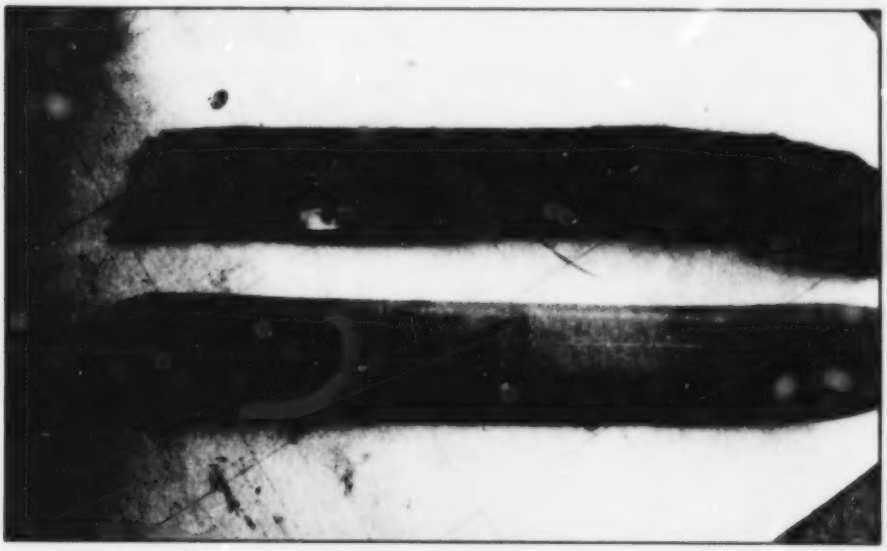
4.5 Moteur

C'est un monocylindre 220 c.c., 20 Hp, fabriqué par Cuyuna; son poids est de 20 kg comparativement aux 27 kg du moteur équipant le Samak 428. Sur ce prototype, le support a été conçu pour recevoir les deux types de moteur.



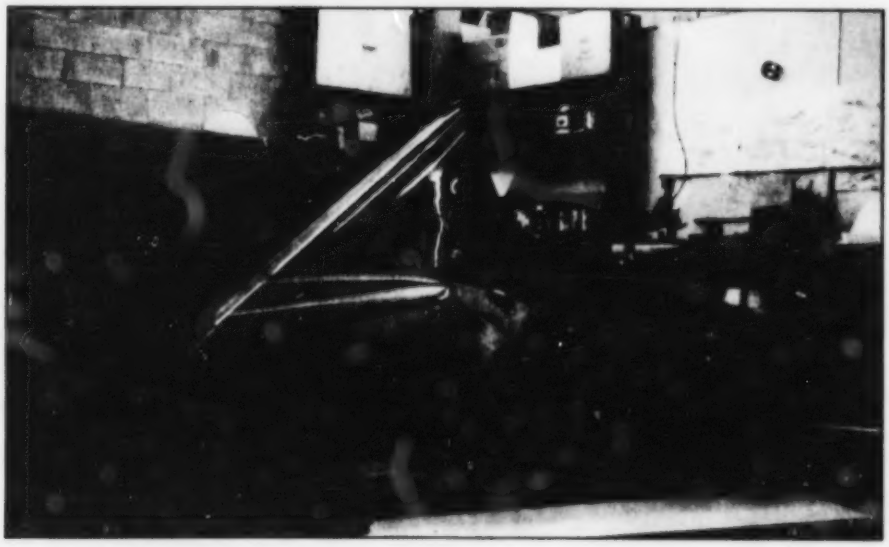
4.6 Skis

Les skis équipant le prototype sont fabriqués à partir de matériaux comme le kevlar, les fibres de carbone, les résines époxydiques et la mousse rigide; ils comportent des prisonniers en aluminium aux endroits fortement sollicités. Le ski illustré ci-dessous, en plus d'alléger considérablement la charge exercée sur la neige, possède des caractéristiques de flottabilité positive en cas de chute à l'eau.



4.7 Siège

Le siège, lui aussi, possède des caractéristiques de flottabilité positive. Mais au lieu d'être fait de plastique à cellules fermées, il est en plastique alvéolaire, imperméabilisé par un revêtement de silicone.



4.8 Allégement du poids total

La recherche vise à réaliser un modèle de série pesant 125 kg. Pour l'instant, le prototype pèse 136 kg. L'écart de poids peut être attribué en partie au procédé de moulage par contact utilisé pour la structure, mais la possibilité d'un allégement plus poussé sera réelle lorsque les essais de résistance des matériaux seront achevés.

Voici, à titre de comparaison, le poids des six motoneiges parmi les plus légères, en production standard.

Bombardier Elan	130 kg	chenille : 274 cm
Bombardier Citation	134 kg	chenille : 245 cm
Samak Lightweight	136 kg	chenille : 332 cm
Yamaha Bravo	136 kg	chenille : 207 cm
Polaris Star	152 kg	chenille : 238 cm
Bombardier Tundra	163 kg	chenille : 334 cm
Yamaha Bravo	172 kg	chenille : 326 cm

On constate que le prototype allégé pèse 6 kg de plus que la plus légère des motoneiges sur le marché, le modèle Elan, mais que la chenille de celle-ci n'est pas aussi longue. La plus légère des motoneiges à longue chenille, la Tundra, pèse 30 kg de plus que le prototype. Ainsi, le prototype Samak allégé s'impose comme la motoneige à chenille unique dont l'empreinte est la plus légère de toutes.

En comparaison du prototype allégé de 136 kg, le Samak 428 a un poids total de 196 kg. Le prototype allégé et le Samak 428 ont des dimensions et une longueur de chenille comparables et, sans leur moteur, leur poids est de 106 et 166 kg, respectivement, soit une différence de poids de 30 p. 100.

4.9 Conclusions

La recherche a débouché sur un prototype de motoneige de type novateur, dont tous les principaux organes sont en matériaux composites et non plus en métal. Il promet d'être plus léger, plus maniable et plus économique que n'importe quelle autre motoneige sur le marché.

La masse volumique du prototype allégé a d'intéressantes répercussions sur la sécurité, étant donné que, à partir de celui-ci, il devient possible de réaliser un engin possédant une flottabilité positive.

5. RECHERCHE SUR LA FLOTTABILITÉ

5.1 Remarques générales

Il y a lieu tout d'abord de décider des raisons pour lesquelles on vise la flottabilité. S'agit-il simplement de permettre la récupération de l'engin ou de sauvegarder le conducteur et les passagers assis sur le siège arrière ou sur la remorque?

5.1.1 Situations d'urgence types dans l'Arctique

Dans l'optique de la sécurité du conducteur, envisageons la situation d'urgence type dans l'Arctique où une motoneige flottable serait un atout. Une motoneige, peut-être en train de tirer une remorque occupée par une ou plusieurs personnes, défonce la glace et tombe dans l'eau. Il peut s'agir d'une glace de mer au moment de la débâcle ou d'une glace d'eau douce devenue instable, ou lors du franchissement d'un estuaire ou d'un secteur maritime assujetti à de fortes fluctuations de la marée.

Pour qu'une personne puisse survivre dans l'Arctique, il faut qu'elle se sorte de l'eau où elle est tombée en deux minutes ou moins. Si elle ne sait pas nager et s'accroche à une motoneige flottante, elle ne pourra survivre que si elle rejoint la surface glacée ou, si quelqu'un arrive à l'en sortir, en deux minutes tout au plus. Il est faux de croire qu'on peut rester accroché longtemps à une motoneige qui flotte.

Une motoneige capable de flotter dans ces conditions n'est utile que dans la mesure où elle est stable dans l'eau et qu'elle flotte assez haut pour que le conducteur se trouve hors de contact avec l'eau. L'exigence porte donc sur le degré de flottabilité que l'engin doit posséder et sur la configuration ou l'agencement des matériaux qui lui permettra de demeurer stable dans l'eau. Pour l'instant, l'étude ne tiendra compte ni de la remorque, ni des passagers éventuels. Cela viendra plus tard une fois que la recherche concernant la sécurité d'une seule personne aura abouti.

5.1.2 Récupération de la motoneige

La seconde raison faisant de la flottabilité une option intéressante est la récupération de la motoneige désemparée. Bien qu'il n'existe pas de preuves chiffrées à l'appui, les motoneigistes des régions septentrionales affirment que, dans la plupart des cas, la motoneige qui défonce la glace sombre mais que le conducteur s'en tire indemne. Il arrive parfois que, l'eau n'étant pas profonde, l'engin puisse être récupéré par la suite.

Si le but visé est seulement la récupération de l'engin, la tâche des chercheurs s'en trouve simplifiée et la gamme des possibilités élargie. Mais quel que soit le but visé, il n'est pas exclu de recourir aux mêmes techniques pour assurer la flottabilité. Dans un cas, le plus exigeant, l'enjeu est la survie du conducteur en le tenant hors de l'eau; dans l'autre, moins critique, le repérage de l'endroit où l'engin a sombré.

5.1.3 Aventurisme et garantie du fabricant

Il existe encore deux autres considérations à prendre en compte lorsqu'on cherche à réaliser une motoneige capable de flotter, le conducteur étant maintenu hors de l'eau. Elles ne relèvent pas de la technique mais n'en restent pas moins importantes, advenant le succès des efforts consentis.

Les conducteurs qui s'aventurent sur des glaces jugées dangereuses sont victimes soit d'un mauvais calcul, soit d'une attitude désinvolte relativement aux dangers qu'ils encourent. La possibilité que la motoneige puisse flotter, si elle défonçait la couverture de glace, risque de rendre ce type de conducteurs encore plus téméraires.

Il y a ensuite la question de la garantie du fabricant. Pour lui, garantir la flottabilité sans pouvoir être certain que le véhicule en question ne sera pas surchargé, que l'entretien des dispositifs de flottabilité ne sera pas négligé ou que le nombre limite de passagers ne sera pas dépassé, c'est s'exposer à des actions en dommages-intérêts en cas d'accident mortel.

5.2 Techniques de flottabilité

5.2.1 Calcul de la flottabilité

Dans l'énoncé des travaux, il est fait mention de "motoneige type arctique" sans spécifier de modèle particulier. C'est pourquoi les calculs ci-dessous ont trait à des motoneiges de taille moyenne s'apparentant au Samak 428 par la forme et le poids.

La flottabilité peut être :

- neutre lorsque l'engin est entièrement immergé;
- négative lorsqu'il s'enfonce sous l'eau n'étant retenu que par une bouée;
- positive lorsqu'il n'est pas entièrement immergé.

Dans l'optique d'une simple récupération, une flottabilité neutre ou négative suffit. Dans l'optique de la survie, une flottabilité nettement positive est nécessaire, étant donné qu'au poids de l'engin il faut ajouter celui du conducteur.

Le corps humain est si proche de la flottabilité neutre qu'il suffit de 0,009 m^3 (576 po^3) d'air emprisonné pour lui donner les 10 kg (21 lb) environ de poussée de bas en haut nécessaire pour assurer la survie aux termes de la réglementation de la Garde côtière canadienne. Mais lorsque, dans un contexte arctique, c'est tout le corps qui doit être hors de l'eau, alors un volume d'air beaucoup plus important devient nécessaire, par exemple les matelas gonflables qu'utilisent les baigneurs.

De même, pour donner à une motoneige une flottabilité neutre, il faut 0,028 m^3 (1 pi^3) d'air, environ. C'est du moins le chiffre qui a été obtenu du pesage sous l'eau d'une motoneige Arctic Cat qui est légèrement plus lourde que le Samak 428. L'Arctic Cat, immergée, pesait 21,8 kg (48 lb). Pour assurer la flottabilité maximale du Samak 428 qui pèse 195 kg (430 lb), il faut 0,192 m^3 (6,8 pi^3) d'air, auquel il faut ajouter 0,104 m^3 (3,7 pi^3) d'air pour tenir compte du poids du conducteur (91 kg ou 200 lb), soit au total 0,296 m^3 (10,5 pi^3). Or, ce volume est considérablement plus élevé que celui de l'engin lui-même qui fait 0,170 m^3 (6 pi^3), environ.

Ainsi, il faut près de 10 fois plus de volume d'air pour assurer la flottabilité de l'engin et la mise hors de l'eau de son conducteur, qu'il n'en faut pour l'engin seulement tenu en état de flottabilité neutre.

Il existe trois moyens d'assurer la flottabilité :

1. coque étanchéisée,
2. utilisation de matériaux à flottabilité inhérente,
3. pneumatique gonflable.

5.2.2 Coque étanchéisée

Cette technique de flottabilité consiste à étanchéiser le compartiment moteur, seul espace pouvant contenir un volume d'air nécessaire à la flottabilité.

Mais cette solution s'accompagne de multiples problèmes. Toutes les mises à l'air libre devront disparaître, créant un sérieux problème de refroidissement du moteur (au printemps qui est une saison à risque élevé, le refroidissement du moteur présente un tel problème que d'aucuns n'hésitent pas à se défaire du capot au complet). Il faudra étanchéiser l'engin en plusieurs points : jambes de skis, colonne de direction, silencieux, arbres d'entraînement, ce qui ne manquera pas de présenter des difficultés d'ordre financier plus que technique ou d'exploitation.

Les ouvertures entre la cabine et le tunnel devront également être étanchéisées et, surtout, l'espace entre le capot et le fond du compartiment moteur, le joint correspondant devant pouvoir résister aux nombreuses manoeuvres d'ouverture et de fermeture du capot.

En outre, il est difficile d'imaginer des joints d'étanchéité capables de résister à un tel environnement sans entretien quasi permanent. Qui plus est, il sera impossible de vérifier la complète étanchéité des joints sans procéder à une immersion de tout l'engin. L'étanchéisation de la coque ne semble donc pas être la technique à privilégier dans l'optique de la survie du conducteur. D'autant plus que des défaillances sont inévitables qui, dans un contexte arctique, ne feront pas paraître la motoneige sous un jour reluisant. Enfin, tout ceci aura des conséquences considérables sur le prix du véhicule.

5.2.3 Flottabilité inhérente

La technique consiste à introduire des matériaux flottants dans la structure de la motoneige, exemple la mousse à cellules fermées. Les endroits indiqués pour cela sont le siège, le dossier du siège et les parois intérieures du compartiment moteur : capot, nez et flasques latérales.

Le siège et le dossier du siège se prêtent bien à ce rôle mais il y a des inconvénients. Sur une motoneige, les sièges et dossiers sont d'habitude fabriqués à partir de mousse alvéolaire, formée dans un moule. La mousse à cellules fermées n'est fabriquée qu'en feuilles ou en blocs ne se prêtant pas aisément au procédé de moulage. De plus, son emploi comme rembourrage des sièges rendra ceux-ci beaucoup plus durs et accroîtra les risques de lésion du dos.

Mais tous ces problèmes seront résolus lorsqu'une mousse à cellules fermées, se prêtant au moulage, apparaîtra sur le marché. Il faudra tester un certain nombre de ces mousses pour en vérifier l'aptitude à servir de rembourrage de siège.

5.2.4 Pneumatique gonflable

La technique nécessite un récipient d'air comprimé, le pneumatique proprement dit et un mécanisme de déclenchement. Sa mise en oeuvre variera selon qu'on désire assurer la survie du conducteur ou simplement faciliter la localisation et la récupération de l'engin.

5.2.5 Objectif : survie du conducteur

Il sera possible d'emprunter à la technologie des sauvetages air-mer en adaptant les équipements qui y sont mis en oeuvre. Pour le mécanisme de déclenchement, on a le choix entre : un déclenchement manuel, hydrostatique ou amorçable par l'eau. Aucun d'eux n'est cependant infaillible. Le premier risque d'être hors de portée en cas d'urgence; le deuxième ne se

déclenche qu'à partir d'une certaine profondeur qui peut être contre-indiquée et le troisième n'est pas encore tout à fait au point. Un fabricant de pneumatiques aux États-Unis étudie présentement un modèle compact à pile dont le temps de réponse ne serait que de 2 à 3 secondes.

L'autre problème à résoudre est celui de l'emplacement du pneumatique. Une solution serait d'emprunter la technologie du coussin gonflable telle qu'elle est appliquée à la sécurité routière, le pneumatique étant en l'occurrence implanté entre le pare-brise et le sommet du capot. Une autre solution serait de le substituer au dossier du siège, à condition qu'il puisse avoir la résistance voulue. Il existe un tel dispositif qui, à l'état emballé, mesure 41 x 18 x 8 cm (16 x 7 x 3 po), sans le mécanisme ni le récipient de gonflage. Le fabricant recommande l'utilisation de l'azote au lieu du bioxyde de carbone dans une eau glacée.

Si l'objectif premier est la survie du conducteur, la fixation du pneumatique à la motoneige peut constituer un risque. Pour réaliser l'objectif, il serait tentant de prendre les grands moyens en recommandant l'adoption d'un équipement de sauvetage air-mer éprouvé en service, assurant sécurité, abri et autres avantages en cas d'urgence.

5.2.6 Objectif : récupération de l'engin

Il est relativement simple. Un sac gonflable est largué à partir d'une certaine profondeur, relié à l'engin par un filin. Il suffira de 0,03 m^3 de gaz pour mettre la motoneige en état proche de la flottabilité neutre. Mais, là aussi, il faut prévoir le sac, le récipient de gaz comprimé et le mécanisme déclencheur, soit un dispositif qui risque de n'être pas plus efficace qu'un siège en mousse à cellules fermées pour mettre l'engin en état de flottabilité neutre. Qui plus est, le sac une fois gonflé risque d'être emporté par le courant et maintenu sous la surface glacée, loin du lieu de l'accident.

5.3 Discussion

Des trois techniques envisagées, celle de la coque étanchéisée est la moins prometteuse. Pour la récupération, une flottabilité inhérente semble convenir mieux qu'un pneumatique, du fait qu'elle est plus simple et moins coûteuse à obtenir. Quant à l'exigence de la survie du conducteur, qui suppose de le garder hors de l'eau, elle nécessite la mise en oeuvre d'un volume de matériau flottant supérieur à tout ce qui pourra être raisonnablement introduit dans un Samak 428.

Mais d'intéressantes perspectives semblent s'ouvrir par l'emploi du siège et/ou du dossier comme bouées captives, que l'on pourrait alors assimiler aux bouées équipant les remorqueurs, et fabriquées par Sea-Mate. D'une capacité de 0,0566 m^3 (2 pi^3), elles sont reliées au remorqueur par un filin long de 1 000 m (3 000 pi). Lorsque le remorqueur sombre, elles sont automatiquement larguées et, une fois à la surface de l'eau, lancent des signaux lumineux et radio de détresse.

Le siège et le dossier pourraient être fabriqués à partir de matériaux à flottabilité élevée, et fixés à l'engin de telle manière qu'ils s'en détachent dès que l'engin a sombré, tout en demeurant reliés à celui-ci par des filins. L'effet sera le même que celui du sac gonflable mais sans l'inconvénient du sac, du mécanisme et du récipient.

Mais, même si le siège a un volume de 0,064 m^3 (2,27 pi^3), qui est plus que le double requis pour mettre le Samak 428 en état de flottabilité neutre, une fois qu'il n'est plus fixé à l'engin, la masse volumique de celui-ci n'est plus la même et le volume requis pour une flottabilité neutre augmente à 0,110 m^3 (3,89 pi^3). Pour que cette technique puisse être efficace, il faudra réduire le poids total de la motoneige tout en maintenant son volume à une valeur à peu près identique.

Alors que le poids de la motoneige ne peut pas être ramené au-dessous d'une certaine limite, il est par contre théoriquement possible de lui donner tout le volume qu'il faut pour garantir la flottabilité. Il sera donc logique de commencer par établir le poids minimal de l'engin et ensuite de calculer le volume supplémentaire à lui donner en fonction du degré de flottabilité qu'on veut le voir atteindre. Tel a été d'ailleurs l'objectif premier de la recherche sur les matériaux légers, décrite à la partie 4.

5.4 Conclusions théoriques

1. Pour survivre, le conducteur d'une motoneige tombée dans l'eau glacée de l'Arctique doit sortir de cette eau dans tout au plus deux minutes. Cet objectif de survie pose dès lors un problème beaucoup plus ardu à résoudre que celui de la simple flottabilité de l'engin lui-même. Bien qu'il suffise en principe de 0,3 m^3 d'air pour réaliser cet objectif, il en faudra près de 10 fois plus afin d'assurer, à un engin de construction métallique classique chargé d'un conducteur, une flottabilité maximale.

2. La technique de la coque étanchéisée est impraticable dans l'Arctique étant donné la difficulté d'assurer un entretien fiable des dispositifs d'étanchéité.

3. La nouvelle technologie des équipements de secours gonflables pourrait servir à l'usage envisagé. Mais, dans l'optique de la simple récupération de la motoneige, ce ne serait pas la meilleure technique possible. Pour la survie du conducteur, cet équipement serait probablement moins efficace que celui dont sont équipés les avions légers et les navires.

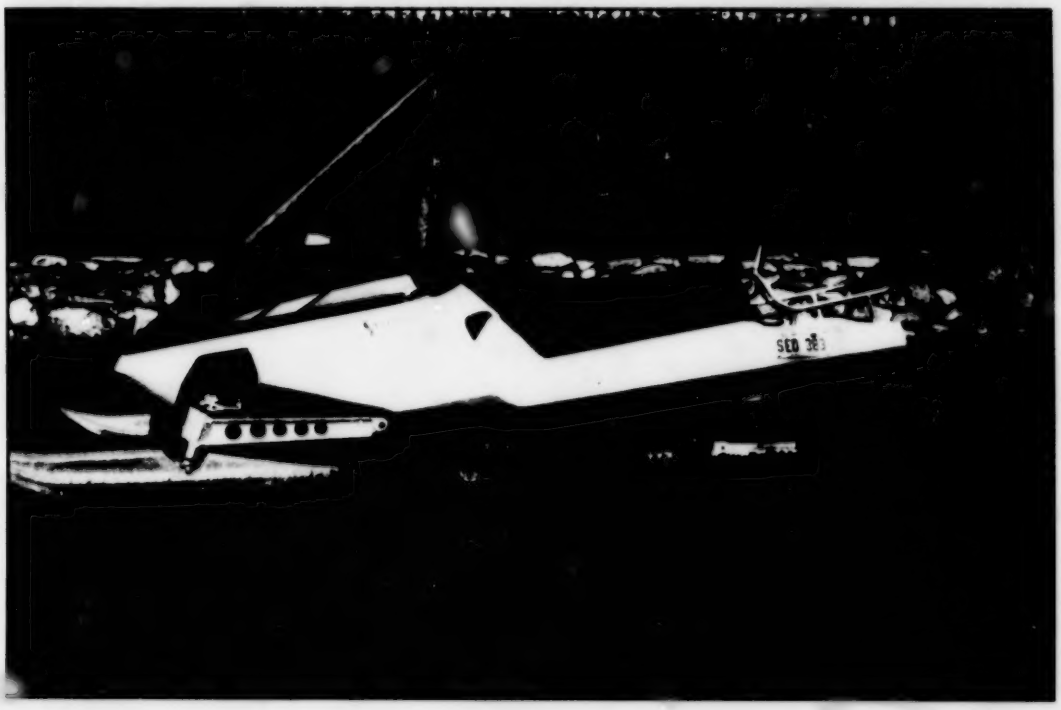
4. La technique de la flottabilité inhérente est la plus aisée à réaliser des trois, notamment dans l'optique de la récupération de l'engin, étant donné qu'il faut, pour donner à celui-ci un état de flottabilité neutre, un volume de matériau flottant inférieur à celui du siège. Cependant, pour que la flottabilité inhérente soit telle que le conducteur puisse être maintenu hors de l'eau, il faudra que le volume du matériau flottant soit une fois et demie environ celui d'une motoneige en métal.

5. Pour pallier à l'inconvénient de l'encombrement, il serait plus efficace d'utiliser pour la fabrication de l'engin des matériaux ayant à la fois une flottabilité inhérente et la robustesse, durabilité et résistance aux chocs voulues. C'est ce principe qui a d'ailleurs présidé à la conception du prototype allégé.

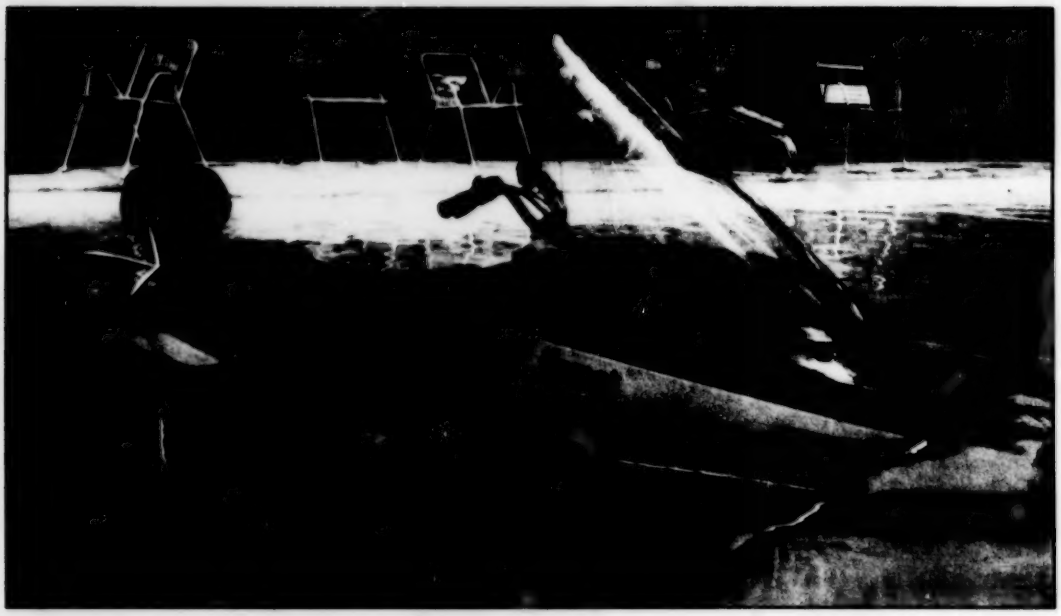
5.5 Essais de flottabilité

5.5.1 Essais en piscine

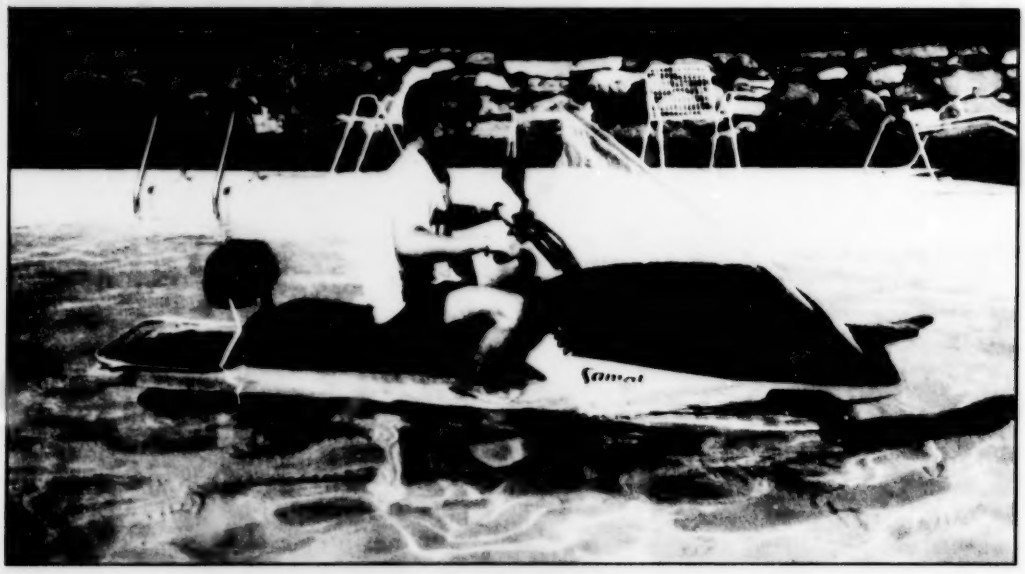
Ces essais se sont déroulés en deux étapes. Dans la première, le prototype équipé d'un moteur réformé a été placé dans une piscine remplie d'eau, essais réussis. Dans la seconde étape, le prototype opérationnel a été mis dans l'eau le moteur en marche. Les photographies illustrent bien le succès des essais.



Ci-dessus, le prototype achevé avant l'essai de flottabilité. On remarque sa silhouette plus profilée que celle du Samak 428 et aussi le pare-brise haut placé pour bien protéger, et les autres accessoires tels que le porte-bagages et la longue chenille.

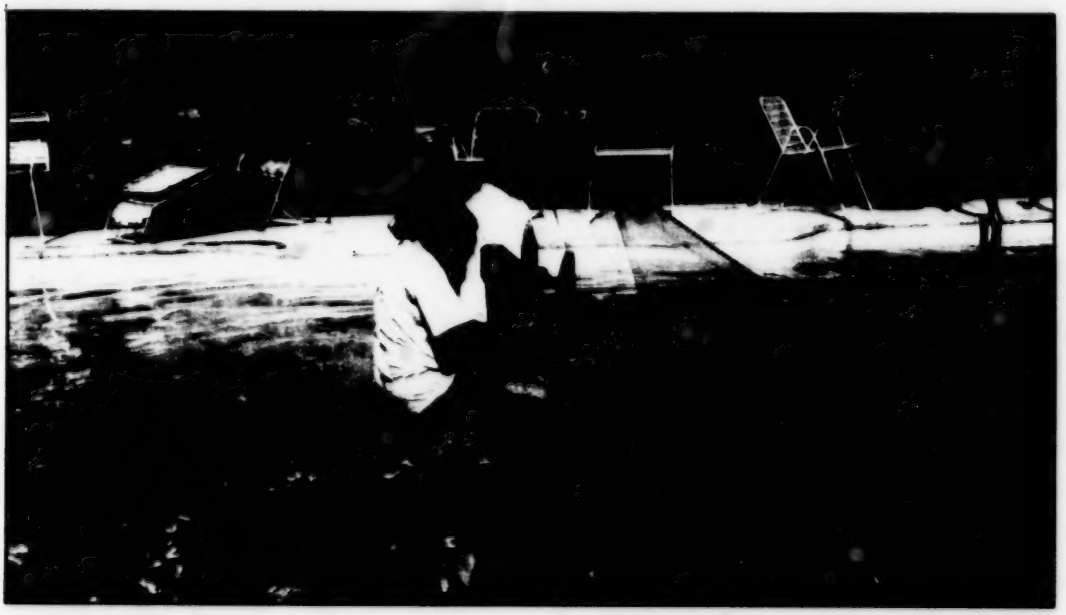


Sans conducteur, l'engin flotte haut sur l'eau, l'horizontalité de son assiette étant surtout due à la flottabilité positive des skis en matériaux composites. L'eau pénètre à travers les ouvertures des jambes de ski, mais l'espace entre le capot et le compartiment moteur est bel et bien hors de l'eau.



Chargé d'un conducteur, l'engin s'enfonce à l'arrière, mais le compartiment moteur reste quand même hors de l'eau, quoique plus bas qu'avant. Dans ces conditions le moteur pourrait continuer à tourner.

Cette photo montre la très bonne stabilité de l'engin dans l'eau. Preuve est ainsi faite qu'il sera possible d'assurer la survie du conducteur dont l'engin est tombé dans l'eau glacée après avoir défoncé la glace, à condition que ce soit dans une eau calme.



Bien qu'il n'ait pas été conçu pour transporter deux personnes, ce prototype dépasse de très loin les qualités de flottabilité escomptées, comme en témoigne cette photo. On remarque ici que la limite de stabilité est sur le point d'être atteinte.

L'eau qui a pénétré par les ouvertures des jambes de ski dans le compartiment moteur, et brassée par le mécanisme d'embrayage, a fini par noyer le moteur. Mais celui-ci a pu redémarrer aussitôt hors de l'eau.

Il semble cependant que de légères modifications permettraient au moteur de continuer à tourner pendant que l'engin flotte sur l'eau : bougies protégées par un revêtement de silicone, tuyau d'échappement et prise d'air placés plus haut.

Sur l'eau, l'engin est resté à peu près immobile, même si la chenille était en mouvement. On pense qu'il sera possible, en fixant de petits dispositifs de propulsion aux roues de support arrière, de faire avancer l'engin dans l'eau sans compromettre pour autant ses performances sur la neige.

5.5.2 Perspectives de recherche et de développement

La voie est ouverte au développement ultérieur de l'engin dans les secteurs suivants :

Ressort à lames en composites

Allégement supplémentaire par la mise au point d'un ressort à lames en composites, au lieu de la suspension avant indépendante étudiée pour le prototype. La stabilité ainsi que le confort en souffriraient inévitablement mais, en revanche, on escompte les avantages suivants :

- l'engin sera plus léger;
- plus ramassé, il permettra la mise en place d'un volume accru de matériau flottant, à l'avant et sur les côtés;
- moins d'ouvertures à étanchéiser et moins de risque que le compartiment moteur soit inondé;
- plus grande simplicité, meilleure maintenabilité et abaissement du coût de fabrication.

Propulsion dans l'eau

Recherche sur les dispositifs de propulsion fixés aux roues de support arrière.

Siège

La mousse alvéolaire formant le siège s'est lentement imbibée d'eau. Les mousses à cellules fermées sur le marché sont trop dures pour servir au siège, mais ce problème pourra être résolu avec la découverte de mousses nouvelles, moins dures et susceptibles d'être moulées.

Maîtrise des voies d'eau

Bien que la technique de la coque étanchéisée ait été jugée impraticable, il serait intéressant cependant de chercher le moyen de ralentir les voies d'eau dans le compartiment moteur de manière à permettre au moteur de tourner le plus longtemps possible. La recherche devra porter sur l'étanchéisation des ouvertures autour des jambes de ski, et entre le capot et le compartiment moteur.

Matériaux

Une recherche plus approfondie sera nécessaire sur les performances relatives des matériaux composites : flottabilité, robustesse et résistance aux chocs. Il faudra les examiner sous l'angle des compromis possibles entre, par exemple, le plastique renforcé de fibres de verre obtenu selon le procédé de moulage au contact et d'autres matériaux thermoformables, comme le polyéthylène ou un alliage ABS-nylon.

Il est recommandé qu'une seule série de prototypes soit fabriquée et essayée, dans laquelle les différentes options envisagées seraient incorporées selon des combinaisons variées, de manière à déboucher sur un prototype présérie. Une demande de fonds a déjà été faite au titre du fonds de développement économique des populations autochtones, concernant ce prototype présérie. La demande concernant la fabrication de la seconde série de prototypes n'a cependant pas encore été rédigée.